

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-250132

(43)公開日 平成6年(1994)9月9日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 2 F 1/035

G 0 2 B 6/28

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

A 8707-2K

審査請求 未請求 発明の数 9 F D (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平6-40657

(22)出願日 平成6年(1994)2月16日

(31)優先権主張番号 0 1 9 9 5 7

(32)優先日 1993年2月19日

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 390035493

アメリカン テレフォン アンド テレグ  
ラフ カムパニー

AMERICAN TELEPHONE  
AND TELEGRAPH COMPA  
NY

アメリカ合衆国 10013-2412 ニューヨ  
ーク ニューヨーク アヴェニュー オブ  
ジ アメリカズ 32

(74)代理人 弁理士 三俣 弘文

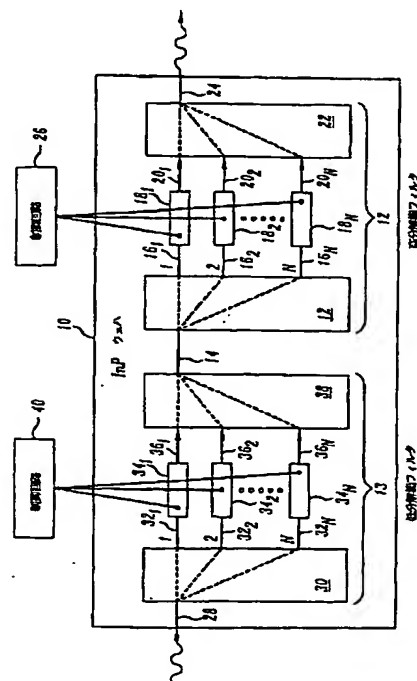
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光フィルタ装置

(57)【要約】

【目的】 広い光周波数範囲にわたって数多くの光周波数に対して高速に同調可能なモノリシックに集積化された広帯域光フィルタを提供する。

【構成】 本発明のフィルタは、半導体ウエハ10上に形成された、異なった分解能を有する2つの直列接続されたフィルタ12、13より構成されている。制御回路26、40が、ウエハ上で規定されたフィルタの構成要素を接続する制御可能な透過率を有する導波路18、34に対して電気エネルギーを供給する。これにより、フィルタ全体が複数の光周波数のうちの所定のものに対して同調する。このような電気エネルギーの印加により、半導体媒質の帯域全体にわたって選択された数百もの光周波数のうちの一つを透過させる周波数選択経路が生成される。このフィルタは安価に構成でき、大容量高速光通信ネットワークにおいて有用である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体ウエハ(10)内に形成された第一の周波数分解能を有する第一の光フィルタ(12)

と、

前記第一の光フィルタ(12)と直列に接続され、前記半導体ウエハ(10)内に形成された第二の周波数分解能を有する第二の光フィルタ(13)とを有することを特徴とする光フィルタ装置。

【請求項2】 前記第一の分解能が、前記第二の分解能よりも大きいことを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項3】 前記第1、第2の光フィルタ(12、13)が、

出力周波数ルーティングデバイス(22、38)とこのデバイス(22、38)に直列に接続された入力周波数ルーティングデバイス(12、30)とを有することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項4】 前記入力周波数ルーティングデバイス(12、30)が、入力導波路(14、28)上の多重化された複数個の光周波数を受信し、かつ各々の周波数を複数個の出力導波路(16、32)の内の対応するものに出力することを特徴とする請求項3に記載の装置。

【請求項5】 前記出力周波数ルーティングデバイス(22、38)が、前記各々の入力周波数ルーティングデバイス(12、30)からのそれぞれの複数個の入力導波路(20、36)の各々において単一周波数を受信し、これらの単一周波数を単一の出力導波路(14、24)上に多重化することを特徴とする請求項3に記載の装置。

【請求項6】 前記第1、第2の光フィルタ(12、13)が、前記入力周波数ルーティングデバイス(12、30)の各々からの複数個の出力を前記出力周波数ルーティングデバイス(22、38)の各々の複数個の入力に接続する複数個の導波路(16-18-20、32-34-36)を有し、前記複数個の導波路の各々が、その透過率が制御可能である部分(18、34)を有することを特徴とする請求項1に記載の装置。

【請求項7】 前記第1、第2の光フィルタ(12、13)が、前記入力周波数ルーティングデバイス(12、30)によって受信された複数個の多重化された光周波数の内の所定の一つあるいは複数に対して前記光フィルタを同調させるために、前記透過率制御可能部分(18、34)の所定のものに対して電気エネルギーを選択的に供給する制御回路(26、40)を有することを特徴とする請求項6に記載の装置。

【請求項8】 前記入力周波数ルーティングデバイス(12、30)が、入力導波路(41)と、前記入力導波路(41)に接続された第一の自由空間領域(42)と、

前記第一の自由空間領域(42)に接続された複数個の出力導波路(43)と、

複数個の異なる長さを有する導波路よりなり前記複数個の出力導波路(43)に接続された光学回折格子(44)と、

前記光学回折格子(44)に接続された複数個の入力導波路(45)と、

前記複数個の入力導波路(45)に接続された第二の自由空間領域(46)と、

10 前記第二の自由空間領域(46)に接続された複数個の出力導波路(48)と、を有することを特徴とする請求項3に記載の装置。

【請求項9】 前記出力周波数ルーティングデバイス(22、38)が、

複数個の入力導波路(41)と、

前記入力導波路(41)に接続された第一の自由空間領域(42)と、

前記第一の自由空間領域(42)に接続された複数個の出力導波路(43)と、

20 複数個の異なる長さを有する導波路よりなり前記複数個の出力導波路(43)に接続された光学回折格子(44)と、

前記光学回折格子(44)に接続された複数個の入力導波路(45)と、

前記複数個の入力導波路(45)に接続された第二の自由空間領域(46)と、

前記第二の自由空間領域(46)に接続された出力導波路(48)と、を有することを特徴とする請求項3に記載の装置。

30 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光通信システムに関し、特に、光通信システムに用いられる光フィルタに関する。

【0002】

【従来の技術】通信システムの容量及びスピードは、光学的に透明なノード、ファイバ、導波路などからなるネットワークを介して、光の形態で情報を送出することにより増大する。大容量光通信システムは、光ネットワークのコンポーネント内において、多くの光信号が周波数分割・多重化することが必要である。このことにより、複数個の多重化された電磁波周波数から単一の電磁波周波数を検出して、それを分離する簡便な装置が必要である。複数個の多重化された電磁波周波数から単一の電磁波周波数を検出して、それを分離する理想的なデバイスは、周波数選択光フィルタである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】現在まで、光周波数の広い範囲にわたって、波長を可変可能な適切な光フィルタを作成する簡便な方策は存在しない。従来技術に係る

フィルタの性能は、チューニング速度、周波数選択度、あるいはチューニング範囲といった点において制限されている。さらに、従来技術に係る全てのデバイスは、それを実現するために多くの費用を必要とする。

#### 【0004】

【課題を解決するための手段】本発明のフィルタは、広利得帯域光集積化回路とともに作製された高速波長可変光フィルタである。そこに記載されているフィルタは、米国特許第5,002,350号及び第5,136,671号に記載されているものと類似のマルチプレクサ／デマルチプレクサ等の $1 \times N$ 周波数ルーティングデバイスを用いている。このフィルタは、最大 $N$ 個の離散化された光周波数に対して高速にチューニングすることが可能である。ここで、 $N$ は、このフィルタに用いられている周波数ルータのブランチの数である。

【0005】本発明者は、前述の周波数ルーティングデバイスを用いるフィルタに関する離散化された周波数の個数が、前掲の米国特許出願に記載されているもの等の周波数ルーティングデバイスの周期的ルーティング特性を用いることによって劇的に増大できることを見出した。例えば、この種のフィルタが、チューニング可能な離散化された周波数の数は、最大 $N^2$ となる。よって、本発明のフィルタは、光通信ネットワークにおいて用いられる半導体材料の有する帯域全体にわたる光周波数を検出することが可能となる。さらに、本発明のフィルタは、フィルタの一部として用いられている周波数ルーティングデバイスの特性によって規定された自由スペクトル領域によって分離された複数の識別不能な周波数に対して同調してしまう可能性を回避できる。

【0006】本発明の一実施例においては、周波数ルーティングデバイスのブランチの数の2乗に等しい離散化周波数の組の検出を実現するために、周波数ルーティングデバイスの周期的ルーティング特性を利用した広帯域フィルタが実現されている。適切な大きさのこの種の周波数ルーティングデバイスは、数百もの周波数に対して同調可能な光フィルタを構成するために用いられる。これらのフィルタの各々は、2つのカスケード接続された光フィルタよりなる。そのうちの一方は、高分解能フィルタであり、他方は低分解能フィルタである。各々のフィルタは、それぞれの $N$ 個のブランチによって直列に接続された2つの $1 \times N$ 周波数ルーティングデバイスよりなる。これら $N$ 個のブランチ各々に対して集積化された活性領域が、光増幅器としてあるいはゲートとして選択的に用いられる。これらの部分のうちの選択された一つの活性化により、フィルタの入力と出力との間の周波数選択ルートが実現される。

【0007】第一のフィルタは、高分解能透過帯域を有している。第二のフィルタは、第一のフィルタによって生成された $N$ 個の高分解能透過帯域よりなる周期的な組の一群のものと重なり合う低分解能透過帯域を有してい

る。本発明により、光増幅器のうちの所定のものを活性化することにより、広帯域フィルタの入力と出力との間の特定の高分解能透過帯域が選択される。 $\Delta F$ の幅を有する $N^2$ 個の連続する高分解能透過帯域が、光通信ネットワークにおいて用いられる半導体材料の全帯域を包含するほどの同調可能な帯域幅 $N^2 \Delta F$ 全体にわたって選択される。

【0008】フィルタのチューニング（同調動作）は、所定の活性領域部分にバイアス電流を供給する電気的なスイッチを用いて、所定の活性領域部分においてゲート動作をさせることにより、デジタル的に実行される。このフィルタは、ゲートに対して供給されるバイアス電流のレベルに敏感ではなく、従って非常に安定であることが必要である。本発明のフィルタは、周波数間の切替えを高速な電気的スイッチを用いることによってナノ秒程度のスピードで行ないうる。

#### 【0009】

【実施例】図1は、広周波数範囲にわたって高速に同調可能な本発明に係る光フィルタの一実施例を示した図である。このフィルタは、集積化された周波数ルーティングデバイスを含む高分解能光フィルタ及び低分解能光フィルタを有している。さらに、光信号を伝送する複数の導波路及び光増幅を実現するための複数の光学活性部分を有している。これらの構造は、半導体ウエハ上にモノリシックに集積化される。これらは、従来技術に係る光リソグラフィ技法を用いて作製される。

【0010】図1は、 $\text{InGaAsP}$ などの $\text{InP}$ 材料等の半導体材料よりなるウエハ10を示している。 $1 \times N$ 周波数ルーティングデバイス12は、ウエハ10上に規定された単一の導波路14から多重化された $N$ 個の入力光周波数 $F_1, F_2, \dots, F_N$ を受信する。周波数ルーティングデバイス12は、入力光周波数をデマルチプレクス（分離）し、これらの周波数の各々を出力に接続された個別の出力導波路に導く。周波数 $F_1$ は出力導波路16<sub>1</sub>に導かれ、周波数 $F_2$ は出力導波路16<sub>2</sub>に導かれ、同様にして周波数 $F_N$ は出力導波路16<sub>N</sub>に導かれる。出力導波路16<sub>1</sub>、16<sub>2</sub>、 $\dots$ 、16<sub>N</sub>は、各々、導波路中の制御可能な透過率を有するドーピングされた部分に対する入力に接続されている。図1に即して詳細に述べれば、出力導波路16<sub>1</sub>は光学活性部分18<sub>1</sub>の入力に接続されており、出力導波路16<sub>2</sub>は光学活性部分18<sub>2</sub>の入力に接続されており、同様にして出力導波路16<sub>N</sub>は光学活性部分18<sub>N</sub>の入力に接続されている。

【0011】活性部分18<sub>1</sub>、18<sub>2</sub>、 $\dots$ 、18<sub>N</sub>の出力は、 $N \times 1$ 出力周波数ルータ22の対応する入力導波路20<sub>1</sub>、20<sub>2</sub>、 $\dots$ 、20<sub>N</sub>に接続されている。周波数ルータ22は、入力ルータ12と出力ルータ22との間の全ての活性部分が電気エネルギーによって活性化されている場合には、 $N$ 個の入力導波路上の単一周波

10

20

30

40

50

数を単一の出力導波路24上に多重化する。複数の活性部分のうちの一つのみが電気エネルギーによって活性化されている場合には、その活性化された部分を通過する周波数のみが出力導波路24上に現れる。よって、適切な活性部分を活性化することによって、図1に示されているデバイスは、導波路14上に現れる多重化された入力周波数に対する光フィルタとして機能する。

【0012】従って、デジタルゲート制御回路26が、図1の構造に対して付加されている。このデジタルゲート制御回路26は、図1に示されているデバイスに対する入力ストリーム中の不要な周波数を抑圧して、図1のデバイスの出力から一つあるいは複数の必要とする周波数のみを得るよう、2つの周波数ルータ12、22間の活性部分18のうちの所定のものに対して電気エネルギーを選択的に供給する。図3に示されているように、図1のフィルタ12は、周波数間隔 $\Delta F$ によって分離された高分解能透過帯域を実現するような大きさを有している。図3に示されているように、自由空間領域(FSRと呼称される)の透過帯域の周期的な組が存在する。これらの透過帯域の組の各々は、N個の透過帯域を構成している。よって、透過帯域の組は、 $N\Delta F$ の幅を有するFSRによって分割される。これらの透過帯域の組は、フィルタ12に関して同一のルーティング特性を有している。

【0013】図1に示されているフィルタは、さらに、 $1 \times N$ 入力ルーティングデバイス30に対して接続された入力導波路28を有する低分解能フィルタ13を有している。低分解能フィルタ30は、導波路32<sub>1</sub>、32<sub>2</sub>、...、32<sub>N</sub>のうちのそれぞれ対応するものに接続されたN個の出力ポートを有している。導波路32<sub>1</sub>、32<sub>2</sub>、...、32<sub>N</sub>は、複数の光増幅器34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub>、...、34<sub>N</sub>のうちの各々対応するものに対して接続されている。各々の光増幅器の他端は、 $N \times 1$ 出力周波数ルーティングデバイス38の対応する入力ポートに接続された複数の導波路36<sub>1</sub>、36<sub>2</sub>、...、36<sub>N</sub>のうちの対応するものに接続されている。周波数ルーティングデバイス38の単一の出力ポートは、低分解能フィルタ13の出力を高分解能フィルタ12の入力に接続する導波路14に接続されている。この低分解能フィルタ13は、高分解能フィルタ12と同様に機能する。この低分解能フィルタ13は、導波路28上で受信された複数の多重化された入力周波数を受け入れ、ゲート制御回路40によってどの光増幅器34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub>、...、34<sub>N</sub>が起動されるかに依存した、高分解能フィルタ12の一つの自由スペクトル範囲内に入る多重化された周波数よりなるサブセットを導波路14上へ生成する。この低分解能フィルタ13は、図3に示されているように、周波数間隔 $N\Delta F$ を有する低分解能透過帯域を実現するような大きさを有している。さらに図3に示されているように、低分解能フィルタ1

3の各々の透過帯域は、高分解能フィルタに係るFSR透過帯域の組のうちの一つとそれぞれ重なりあっている。よって、フィルタ13に係る一つの低分解能透過帯域内にN個の高分解能透過帯域が存在することになる。

【0014】高分解能フィルタ12のi番目のゲートと低分解能フィルタ13のj番目のゲートを活性化することにより、図4に示されているように、図1のフィルタの入力と出力との間の(Fi)高分解能透過帯域が選択される。例えば、図1のフィルタを図3に示された参照番号28を有する透過帯域内の周波数に同調させることを希望した場合には、低分解能フィルタ13に係るj番目の透過帯域を選択するためにj番目の光増幅器34<sub>j</sub>がゲート制御回路40によってバイアスされ、周波数ルーティングデバイス30と38との間のその他の光増幅器はバイアスされない。同様に、図1のフィルタを図3の透過帯域28内の周波数に同調させるために、光増幅器18<sub>2</sub>のみがゲート制御回路26によってバイアスされて周波数ルーティングデバイス12と22との間のその他の光増幅器はバイアスされない。図1のフィルタを、例えば、異なったFSR内の透過帯域28などの異なった周波数に同調させることを希望した場合には、高分解能フィルタ12に係る希望したFSRと重なり合う適切な低分解能透過帯域を選択する、周波数ルーティングデバイス30と38との間に位置する光増幅器が活性化され、その他の増幅器はバイアス(活性化)されない状態となる。図1のフィルタを同一のFSR内の高分解能フィルタ12に係る相異なった透過帯域(例えば図3の透過帯域29)に対して同調させることを希望した場合には、周波数ルーティングデバイス12と22との間の活性化されている単一の増幅器が適切に変更される。デバイス30と38との間の増幅器の活性化は不変のままに保たれる。

【0015】同調は電氣的スイッチングにより離散的に実行される。これは非常に安定であり、かつ、高速の電氣的スイッチを用いることにより、ナノ秒のスピードでスイッチングできる。従来技術に係る直接検出光フィルタに前置されたこのようなフィルタは、広周波数範囲にわたって同調可能な光レシーバを実現する手段を提供する。

【0016】図1のデバイスにおける各々の光増幅器は、導波路内の制御可能な光学的透過率を有するドーピングされた部分によって構成されている。このドーピングは、各々の光増幅器内で適切に配置された半導体接合が規定されるようになされる。これらの部分は光学活性であり、電気エネルギーを印加することによって光エネルギーフローに対して透明になり、さらにはそれらを通す光信号に対してある程度の利得を与えるようになる。これらドーピングされた部分は、電氣的に活性化されない場合には、実質的に透過光に対して不透明である。よって、適切にドーピングされた部分は、電気エネ

ルギーによって励起されるか否かに依存して、ゲートあるいは光増幅器としてみなすことが出来ることになる。図1に示されているようなInP製ウエハ10などのウエハにこのような部分を形成することの詳細に関しては一般に公知であるので、ここでは説明しない。

【0017】図2は、図1に示された光ルーティングデバイス12、22、30、38の一例を詳細に示した図である。各々の周波数ルーティングデバイスは、自由空間領域42に接続された複数の入力導波路41を有している。複数の出力導波路43が自由空間領域42から延在しており、光学回折格子44に接続されている。光学回折格子44は、複数の異なる長さを有する導波路によって構成されており、出力導波路43と他方の自由空間領域46に接続された対応する複数の入力導波路45との間に所定量の経路長差を実現する。自由空間領域46は、複数の出力導波路48に接続されている。これらの周波数ルーティングデバイスは、光学周波数のマルチプレクサ及びデマルチプレクサとして機能する。これらの周波数ルーティングデバイスの構成及びその動作は、前掲の米国特許により詳細に記述されている。図2の構成が図1の周波数ルーティングデバイス12の場合、入力導波路41のうちの一つは導波路14に接続されており、出力導波路48は、導波路16<sub>1</sub>、16<sub>2</sub>、...、16<sub>N</sub>に接続されている。図2の構成が図1の周波数ルーティングデバイス22の場合、入力導波路41は、図1に示されている導波路20<sub>1</sub>、20<sub>2</sub>、...、20<sub>N</sub>のうちの対応するものに接続されており、出力導波路48のうちの一つは、図1の導波路24に接続されている。図2の構成が周波数ルーティングデバイス30の場合、入力導波路41のうちの一つは、図1の導波路28に接続されている。出力導波路48は、それぞれ対応する導波路32<sub>1</sub>、32<sub>2</sub>、...、32<sub>N</sub>のうちの対応するものに接続されている。図2の構成が周波数ルーティングデバイス38の場合、入力導波路41は、それぞれ図1の導波路36<sub>1</sub>、36<sub>2</sub>、...、36<sub>N</sub>のうちの対応するものに接続されている。出力導波路48のうちの一つは、図1の導波路14に接続されている。図2に示されているような周波数ルーティングデバイスの周波数分解能、すなわち図3に示されている透過帯域の幅と間隔は、そのデバイスの形状、特に図2に示されている光学回折格子44によって実現される経路長差の大きさ、によって決定される。

【0018】図1のデバイスは、高速大容量光通信ネットワークにおいて用いられている数多くの相異なった光周波数に対して同調可能である。例えば、32あるいはそれ以上のNを有する周波数ルーティングデバイスを単一の半導体ウエハ上に簡便に作製することが可能である。このため、32<sup>2</sup>あるいはそれ以上の光周波数に対

して同調させうる。例えば、高分解能フィルタ及び低分解能フィルタがそれぞれ50GHz及び800GHzの間隔で配置された対応する高分解能透過帯域及び低分解能透過帯域を実現するように設計されているとを仮定すると、図1のデバイスは、12、800GHz（波長1.5μmの近傍およそ100nm）の同調範囲にわたって少なくとも256個の離散周波数に対して同調させられることになる。この場合は、同調範囲は周波数ルーティングデバイスの大きさではなく、半導体活性媒体の利得帯域によって制限される。図1に示されたフィルタのようなデバイスは、周波数分割多重化に基づく大規模光ネットワーク応用に対して魅力的である。

【0019】以上の説明は、本発明の一実施例に関するもので、この技術分野の当業者であれば、本発明の種々の変形例が考え得るが、それらはいずれも本発明の技術的範囲に包含される。

【0020】

【発明の効果】以上述べたごとく、本発明によれば、光周波数の広い範囲にわたって波長可変可能な適切な光フィルタが提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の広帯域同調可能フィルタの一例を示すブロック図。

【図2】図1に示されている周波数ルーティングデバイスの詳細を示すブロック図。

【図3】図1に示されている高分解能フィルタ及び低分解能フィルタの周波数特性を示す図。

【図4】図1に示されているデバイスが高分解能フィルタ及び低分解能フィルタの双方の透過帯域内の特定の周波数F<sub>1j</sub>に対して敏感であるように前記2つのフィルタが同調されるべき低分解能透過帯域及び高分解能透過帯域との間の関係を示す図。

【符号の説明】

10 半導体ウエハ

12 高分解能フィルタ

13 低分解能フィルタ

14、16、20、24、28、32、36 導波路

12、22、30、38 周波数ルーティングデバイス

18、34 光学活性部分

26、40 ゲート制御回路

41 入力導波路

42 自由空間領域

43 出力導波路

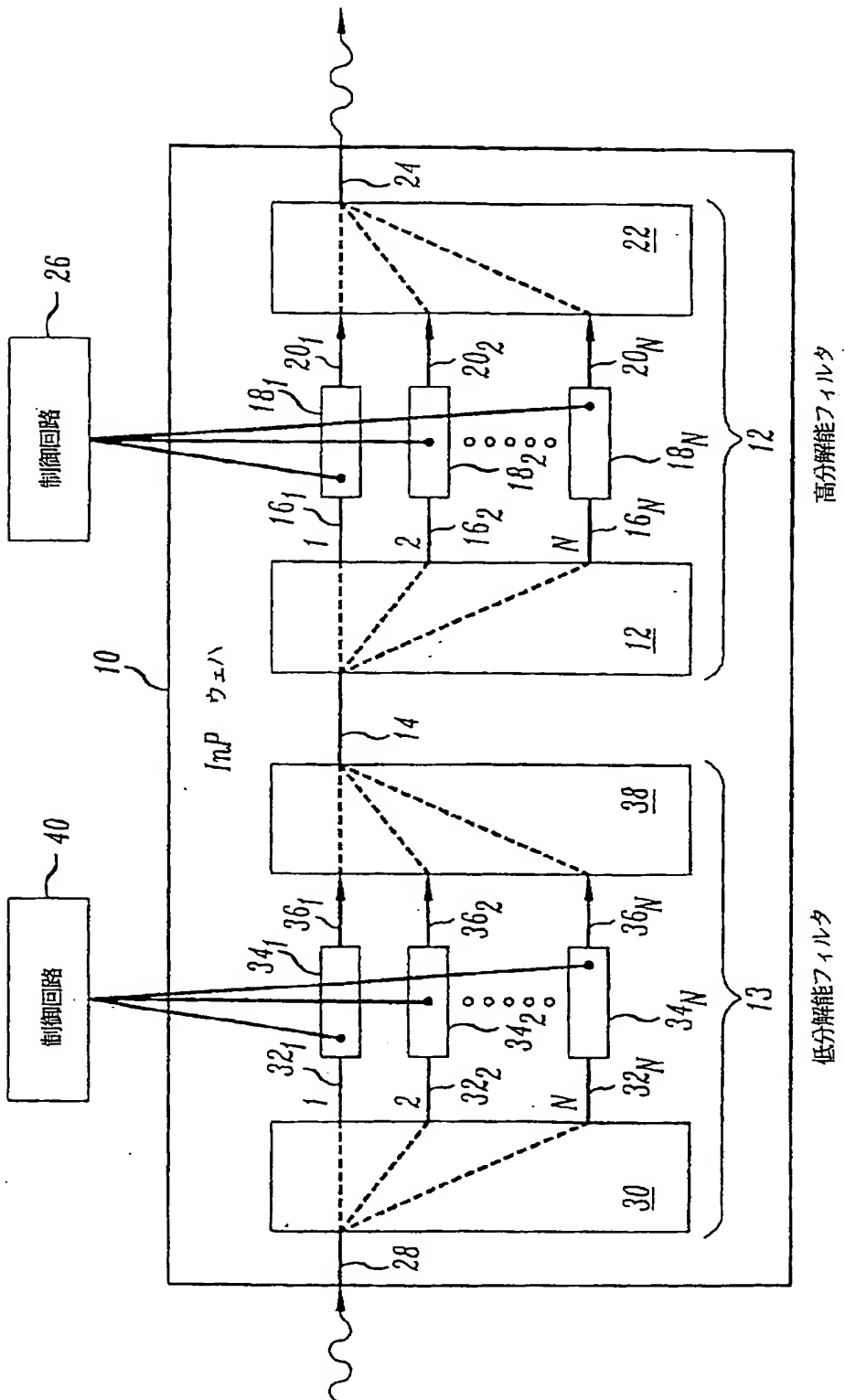
44 光学回折格子

45 入力導波路

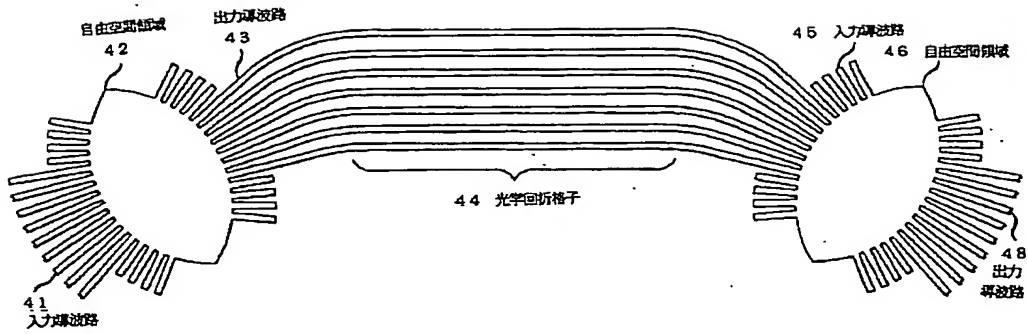
46 自由空間領域

48 出力導波路

【図1】

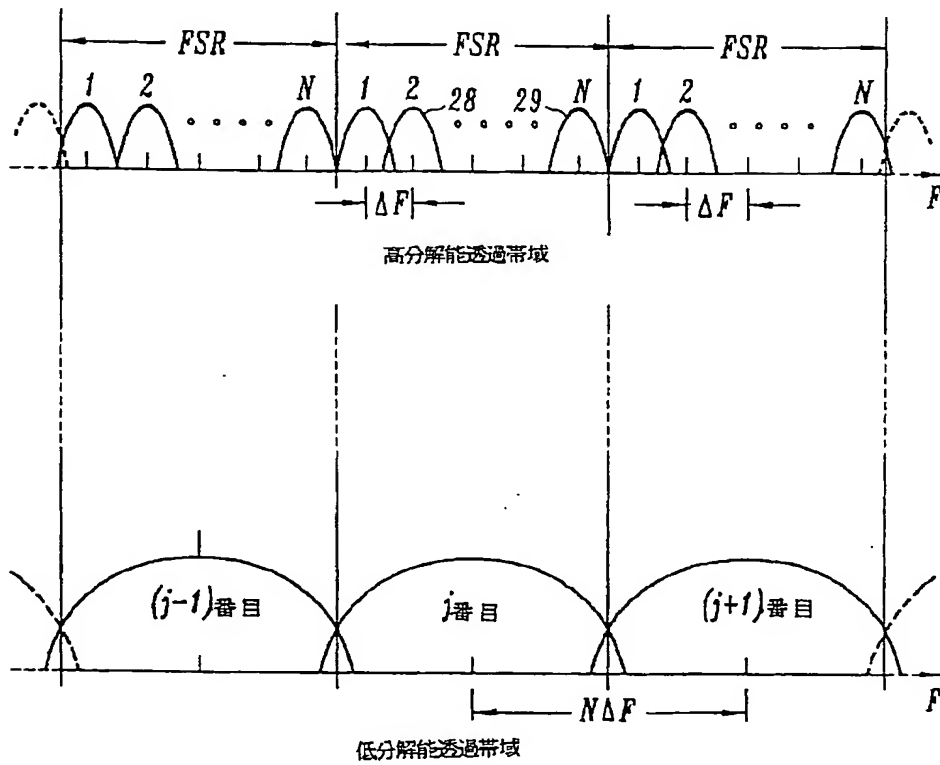


【図2】

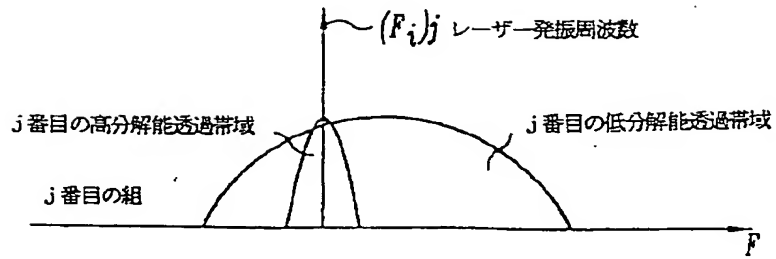


【図3】

あるポートから見た周波数ルーティング



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 ビー. グランス  
 アメリカ合衆国、07722 ニュージャージー、  
 コルツ ネット、ウッドホロウ ロード 64

(72)発明者 アール. ダブリュ. ウィルソン  
 アメリカ合衆国、07733 ニュージャージー、  
 ホルムデル、バレイ ポイント ドライブ 9